42321.

Das Zeeman-Phänomen

im sichtbaren Spektrum von Mangan und Argon.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

ACAD. LVGD. BAT. BIBL.

vorgelegt von

Otto Lüttig

aus **Holdenstedt** (Prov. Sachsen).

Halle a. S.
Buchdruckerei Hohmann
1911.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn.

Meinen lieben Eltern!

Inhalt.

Seite

I. Einleitung 5

II. Die Apparate.

Das Stufengitter 7

Der Magnet 9

Die Magnetfelder 11

Die Lichtquelle 12

III. Hauptuntersuchungen.

Die Manganlinien 14

Die Argonlinien 30

IV. Bestimmung der Wellenlängenunterschiede mehrerer komplexer Jodlinien 40

V. Allgemeine Ergebnisse 47

I. Einleitung.

Im Jahre 1896 gelang es Zeeman,[1]) zuerst an den D-Linien des Natriumspektrums die Beeinflussung der Lichtemission durch starke magnetische Kräfte nachzuweisen.

Seitdem sind über das nach dem Entdecker benannte Phänomen zahlreiche experimentelle Untersuchungen angestellt worden. Eine Uebersicht über die neueren Arbeiten ist in der Dissertation des Herrn C. Peterke[2]) enthalten. Ueber die Erscheinung des Zeeman-Phänomens findet sich das Wesentlichste in der Dissertation des Herrn W. Lohmann.[3]) Eine ausführliche Entwicklung der Theorie gibt W. Voigt in seiner „Magneto- und Elektrooptik."[4])

Wegen der hohen Bedeutung des Zeeman-Phänomens zur Erkennung der in den Spektren vorhandenen Gesetzmäßigkeiten ist es wünschenswert, daß eine möglichst große Zahl von Spektrallinien auf ihr Verhalten im Magnetfelde geprüft wird. Die Versuche können nur mit Hilfe spektroskopischer Apparate stärkster Dispersion ausgeführt werden. Zu Untersuchungen im sichtbaren Teile des Spektrums ist das Michelsonsche Stufengitter wegen seiner Lichtstärke und seiner hohen

---

[1]) P. Zeeman, On the influence of magnetism on the light emitted by a substance. Phil. Mag. (5) 43, pag. 226—239 (1897) ,nach Zittingsversh. Akad. Amsterdam 5, pag. 181—184, 242—248 (1896).

[2]) C. Peterke, Untersuchungen über das Zeeman-Phänomen im sichtbaren Spektrum von Nickel und Palladium. Diss. Halle a. S. 1909.

[3]) W. Lohmann, Beiträge zur Kenntnis des Zeeman-Phänomens. Diss. Halle a. S. 1906.

[4]) W. Voigt, Magneto- und Elektrooptik. Leipzig 1908.

auflösenden Kraft, die das beste Rowland-Gitter noch weit übertrifft, wohl geeignet.

Das ursprüngliche Ziel dieser Arbeit war, mit dem Stufengitter des hiesigen Instituts außer den Manganlinien noch die Kobalt- und Wolframlinien im Magnetfelde zu untersuchen. An diesem Plane konnte jedoch nicht festgehalten werden, da es nicht möglich war, Kobalt und Wolfram in einer für die Untersuchung brauchbaren Form zu erhalten. Zahlreiche Versuche zur Herstellung geeigneter Legierungen mißlangen. Eine nähere Untersuchung der Wolframlinien verlor aber auch an Interesse, als während meiner Versuche die Arbeit des Herrn R. Jack[1]) erschien, welche eine genaue Untersuchung des Zeeman-Phänomens im Wolframspektrum vom äußersten Violett bis zu den gelben Linien enthält.

Auf die freundliche Anregung und mit gütiger Unterstützung von Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn habe ich es dann unternommen, Untersuchungen über das Zeeman-Phänomen im sichtbaren Spektrum von Mangan und Argon anzustellen.

Eine Untersuchung des Zeeman-Phänomens im sichtbaren Spektrum des Jods hatte keinen rechten Erfolg, führte aber zur Auffindung einiger komplexer Linien, über deren Struktur im letzten Teile der Arbeit berichtet sein möge.

---

[1]) R. Jack, Zeeman-Effekt an Wolfram und Molybdän. Ann. d. Phys. IV 28 1909, pag. 1032—1066.

II. Die Apparate.

Das Stufengitter.

Das Stufengitter des hiesigen Instituts besteht aus 32 Glasplatten von je 1 cm Dicke, die Stufenbreite beträgt 1 mm Den Fraunhoferschen Linien A und H entsprechend liegt die auflösende Kraft zwischen 256 000 und 585 000.

Die außerordentliche Vollkommenheit des Apparates wurde zuerst durch die Untersuchungen des Herrn Dr. L. Janicki[1]) über feinere Zerlegung von Spektrallinien erkannt und dann weiter bestätigt durch die schönen Entdeckungen des Herrn Dr. W. Lohmann[2]) in bezug auf das Zeeman-Phänomen.

In beiden Arbeiten findet sich eine genaue Darlegung der Theorie und der Anwendung des Stufengitters in Anlehnung an die Originalabhandlung von A. A. Michelson.[3]) Es sei hier nur die zur Berechnung des Abstandes zweier Komponenten benutzte Formel angeführt:

$$d\lambda = \frac{\lambda^2}{t\left[(\mu-1)-\lambda\cdot\frac{d\mu}{d\lambda}\right]}\cdot\frac{d\Theta}{d\Theta_1},$$

wo

$d\Theta$ = die Aenderung des Beugungswinkels für eine Aenderung der Wellenlänge λ um $d\lambda$,

---

[1]) L. Janicki, Feinere Zerlegung der Spektrallinien von Quecksilber, Kadmium, Natrium, Thallium und Wasserstoff. Diss. Halle a. S. 1905.

[2]) W. Lohmann, Beiträge zur Kenntnis des Zeeman-Phänomens. Diss. Halle a. S. 1906.

[3]) A. A. Michelson, The echelon spectroscope. Astrophys. Journ. Bd. 8, pag. 36—47 (1898).

$d\Theta_1$ = der Winkelabstand zweier Ordnungen,
μ = der Brechungskoeffizient,

$\mu = \mu_0 + \frac{c}{\lambda - \lambda_0}$, nach Prof. J. Hartmann[1]),

$\mu_0 = 1{,}5470$
$c = 108{,}274$
$\lambda_0 = 1970$
t = Plattendicke = 10 mm.

Die obige Formel ergibt den Abstand zweier Ordnungen, wenn man $d\Theta = d\Theta_1$ setzt. Führt man dagegen für $d\Theta$ den Abstand einer Komponente von der in zwei gleich hellen Ordnungen eingestellten Hauptlinie, für $d\Theta_1$ den Ordnungsabstand der Hauptlinie ein, so stellt $d\lambda$ den Unterschied der Wellenlänge dieser beiden Linien dar. Für die quantitative Bestimmung der Trennungen im Magnetfelde ist es darum erforderlich, die ursprüngliche Linie in zwei gleich hellen Ordnungen einzustellen. Zerfällt die Linie im Magnetfeld in drei Komponenten, so erhält man bei dieser Einstellung zwei Triplets, also im ganzen sechs Linien, von denen die beiden äußersten rechts und links wegen der nach den Seiten hin schnell abfallenden Lichtstärke des Stufengitters auf der photographischen Platte gewöhnlich nicht mehr zur Abbildung gelangen. Der Abstand der Mittellinien der beiden Triplets sollte eigentlich derselbe sein wie der Ordnungsabstand der ursprünglichen Linie, als die magnetischen Kräfte noch nicht wirksam waren. Tatsächlich ändert sich aber der Abstand der Ordnungen beim Einschalten des Magnetfeldes ein wenig, und zwar wird er mit wachsender Feldstärke in der Regel etwas kleiner, wie zuerst von Herrn Dr. Hartmann[2]) festgestellt und dann von Herrn Dr. Peterke[3]) weiter bestätigt worden ist. Um diese Erscheinung bei den Ausmessungen der Linien

---

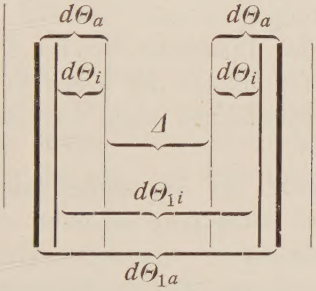
[1]) L. Janicki, Ann. d. Phys. IV 19, pag. 79.

[2]) W. Hartmann, Das Zeeman-Phänomen im sichtbaren Spektrum von Kupfer, Eisen, Gold und Chrom. Diss. Halle a. S. 1907.

[3]) C. Peterke, Untersuchungen über das Zeeman-Phänomen im sichtbaren Spektrum von Nickel und Palladium. Diss. Halle a. S. 1909.

mit berücksichtigen zu können, wurde von den meisten photographisch aufgenommenen Linien unmittelbar nach der Aufnahme des Zeeman-Effektes unter sonst ungeänderten Bedingungen auch eine Aufnahme ohne Magnetfeld, eben nur von den beiden Ordnungen der betreffenden Linie gemacht.

Bezeichnet man dann den Ordnungsabstand der betreffenden Linie vor der Erregung des Magneten mit $d\Theta_{1a}$, die Entfernung der Mittellinien der beiden Triplets nach der Erregung des Magneten mit $d\Theta_{1i}$, den Abstand der inneren Komponenten der Triplets mit Δ, ihre Entfernungen von den Ordnungen mit $d\Theta_a$, bezw. $d\Theta_i$, so ergibt sich, wie aus der folgenden Figur leicht zu ersehen ist,



$$d\Theta_a = \frac{d\Theta_{1a} - \Delta}{2}, \quad d\Theta_i = \frac{d\Theta_{1i} - \Delta}{2}.$$

Setzt man in der oben für $d\lambda$ angegebenen Formel $d\Theta_a$, bezw. $d\Theta_i$ an Stelle von $d\Theta$ und gleichzeitig $d\Theta_{1a}$, bezw. $d\Theta_{1i}$ an Stelle von $d\Theta_1$, so erhält man zwei Werte für $d\lambda$, die im folgenden mit $d\lambda_a$ und $d\lambda_i$ bezeichnet sein mögen.

Der Magnet.

Zur Erzeugung der Magnetfelder diente ein Halbringelektromagnet nach H. Dubois von der Firma Hartmann & Braun, Frankfurt a. M.

Um den Magneten bequem in horizontaler wie vertikaler Richtung verschieben zu können, ist er in überaus leicht zu

handhabender Weise nach den Angaben von Herrn Geheimrat Dorn auf einem fahrbaren Holzgestell montiert worden.

Die Eisenkerne sind durchbohrt, um das Einschieben eines Vakuumunterbrechers[1]) zu gestatten.

Es mögen noch kurz die zu den Beobachtungen verwendeten Polschuhe erwähnt werden.

Zur Untersuchung der Manganlinien wurden zwei sich gegenüberstehende, im Vakuumunterbrecher angebrachte, durchbohrte konische Polschuhe benutzt, deren Grundflächen unmittelbar an die Eisenkerne des Magneten angeschlossen werden können. Die Weite der Durchbohrungen beträgt 7 mm, der Durchmesser der Polstirnflächen 15,4 mm, so daß also die Stirnflächen von 4,2 mm breiten Ringen gebildet werden. Der Durchmesser der Grundfläche der Polschuhe beträgt 80 mm, der halbe Oeffnungswinkel 61°. Infolge der festen Verbindung der Polschuhe haben die Stirnflächen einen unveränderlichen Abstand von etwa 3,2 mm.

Zur Untersuchung der Argonlinien wurden in die durchbohrten Eisenkerne konische Polschuhe mit einem halben Oeffnungswinkel von 63°30′ eingesetzt. Der Durchmesser der Stutzfläche beträgt 40 mm. Für die Beobachtung senkrecht zu den Kraftlinien wurden an den Polstirnflächen noch konische Vorsatzstücke angebracht, die den Durchmesser der Kegelstutzflächen weiter bis auf 6 mm verringern. Der Polabstand betrug ständig etwa 5,5 mm. Für die Beobachtung parallel den Kraftlinien wurde das Vorsatzstück des einen Polschuhes entfernt. Die Durchbohrungen des Polschuhes und des Eisenkerns gestatten dann eine Beobachtung längs der Kraftlinien.

---

[1]) cf. pag. 12.

Die Magnetfelder.

Zur Untersuchung der magnetischen Trennung der Manganlinien sind die wirkenden Magnetfelder einer von Herrn Dr. W. Hartmann[1]) aufgestellten Tabelle, resp. Kurve entnommen worden. Die Versuchsanordnung war ja im wesentlichen dieselbe, welche W. Hartmann bei seinen Untersuchungen verwendet hat. Daß die von W. Hartmann angegebenen Feldstärken weiteren Versuchen zugrunde gelegt werden konnten, zeigt die untenstehende Tabelle, in welcher die von mir für die Aufspaltung der Kupferlinie λ=5153,4 erhaltenen Werte mit den von Hartmann[2]) und von Runge und Paschen[3]) gewonnenen Resultaten zusammengestellt worden sind. Die von Runge und Paschen angegebenen Zerlegungen sind dabei noch auf die genauen Magnetfelder von Frl. A. Stettenheimer[4]) reduziert worden, wie es auch W. Hartmann[5]) in seiner Dissertation getan hat. Die Indices „i“ und „a“ haben die pag. 9 festgesetzte Bedeutung.

Cu 5153,4

Runge u. Paschen	Hartmann	Verfasser			
$\frac{d\lambda}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	$\frac{d\lambda}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	H	$\frac{d\lambda i}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	$\frac{d\lambda a}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	Gesamtmittel aus $\frac{d\lambda i}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$ u. $\frac{d\lambda a}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$
		7 425	$3{,}86_9$	$3{,}84_7$	
3,86 (Mittel aus −3,65 und +4,06)	3,89	12 170	$3{,}96_1$	$3{,}98_0$	3,92
		12 170	$3{,}91_6$	$3{,}92_4$	

[1]) W. Hartmann, Das Zeeman-Phänomen im sichtbaren Spektrum von Kupfer, Eisen, Gold und Chrom. Diss. Halle a. S. 1907, pag. 14.

[2]) cf. [1]) pag. 25 und 30.

[3]) Runge und Paschen, Ueber die Zerlegung einander entsprechender Serienlinien im magnetischen Felde. Sitzungsberichte der Berl. Akad. 1902, pag. 720—730.

[4]) A. Stettenheimer, Eine absolute Messung des Zeeman-Phänomens. Diss. Leipzig 1907. Ann. d. Phys. IV 24, pag. 384—396 (1907).

[5]) a. a. O. pag. 29 und 30.

Für die quantitativen Bestimmungen der Trennungen der Argonlinien sind die wirkenden Magnetfelder aus der Aufspaltung der Heliumlinie $\lambda = 5016$ erschlossen worden. Dabei ist für die Trennung dieser Linie der von W. Lohmann[1]) erhaltene Wert

$$\frac{d\lambda}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5 = 4{,}74$$

angenommen worden.

Die Lichtquelle.

Zur Untersuchung der Argonlinien wurden Geißlerröhren von der gewöhnlichen Plückerform verwendet. Zur Untersuchung der Manganlinien diente als Lichtquelle ein Vakuumunterbrecher, wie er zuerst von Michelson[2]) angegeben ist. Eine genaue Beschreibung des Apparats findet sich in den Dissertationen der Herren Dr. W. Hartmann[3]) und Dr. C. Peterke.[4]) Es mag hier eine kurze Angabe genügen: Der Vakuumunterbrecher besteht zunächst aus einem Messingrohr, welches die oben erwähnten[5]) durchbohrten konischen Polschuhe fest mit einander verbindet, so daß die Stirnflächen einen unveränderlichen Abstand von etwa 3,2 mm besitzen. An diesem Messingrohre sind zwei kleinere Ansatzrohre angebracht, von denen das eine zum Anschließen an eine Luftpumpe dient, während das andere zur Beobachtung des zwischen den Polen erzeugten Lichtes bestimmt ist. Die Grundflächen der Polschuhe tragen durchbohrte Ansatzstücke, denen sich etwa 20 cm lange ebenfalls durchbohrte Messingrohre anschließen. In diese Messingrohre werden durch Glasröhren sorgfältig isoliert etwa 4 mm starke Messingstäbe eingeführt, so daß sie gerade zwischen den Polstirnflächen

[1]) W. Lohmann, Phys. Zeitschr. 9, pag. 145—148 (1908).
[2]) A. A. Michelson, Astrophys. Journ. 8, pag. 36—47 (1898).
[3]) a. a. O. pag. 15—18.
[4]) a. a. O. pag. 13—16.
[5]) cf. pag. 10.

aufeinander stoßen. Der eine dieser Stäbe ist bei den Versuchen in Ruhe, er kann aber durch eine Schraube ein wenig vorwärts und rückwärts bewegt werden. Der andere Stab ist isoliert an einer kleinen exzentrischen Metallscheibe befestigt, die von der Achse eines Elektromotors getragen wird. Setzt man den Motor in Gang, so führt dieser Messingstab eine kleine hin- und hergehende Bewegung aus, die so eingerichtet werden kann, daß der gegenüberstehende feste Stab bei jedem Umlauf einmal berührt wird. Verbindet man die beiden Messingstäbe mit den Polen einer Batterie, so wird durch die hin- und hergehende Bewegung des einen Pols der elektrische Strom fortwährend geschlossen und sogleich wieder unterbrochen. Bei genügend hoher Tourenzahl des Elektromotors entsteht ein kontinuierlicher Lichtbogen. Der Unterbrecher kann beliebig evakuiert in Tätigkeit gesetzt werden. Gewöhnlich diente zum Evakuieren eine Wasserstrahlpumpe, die den Druck auf ca. 2 cm herabsetzte. Der im Vakuumunterbrecher erzeugte Lichtbogen erwies sich hinsichtlich der Lichtschärfe der Linien dem Induktionsfunken als weit überlegen.

Zu den photographischen Aufnahmen habe ich für die kürzeren Wellen des violetten und blauen Spektrums Lumière-Platten (sensibilité extrème), für die grünen und gelben Linien Flavinplatten von Hauff & Co.-Feuerbach in Württemberg verwendet. Beide Platten zeichnen sich durch große Empfindlichkeit aus.

III. Hauptuntersuchungen.

Die Manganlinien.

Um die Manganlinien beobachten zu können, kam es zunächst darauf an, das Material in einer für die Untersuchung brauchbaren Form zu beschaffen. Sollen die Versuche mit dem Vakuumunterbrecher ausgeführt werden, so muß die zu untersuchende Substanz in zylindrischen Stäbchen von etwa 4 mm Dicke oder in ähnlich geformten kleinen Stücken gegeben sein. Reines metallisches Mangan ist in Stäbchenform nicht zu erhalten. Es gelingt zwar, von einem größeren Metallstück kleinere für den Vakuumunterbrecher geeignete Stückchen abzuspalten, diese zerspringen aber wegen ihrer Sprödigkeit bei der leisesten Berührung, sind also im Vakuumunterbrecher nicht zu verwenden.

Ein brauchbares Material erhielt ich dagegen in Form einer Mangankupferlegierung durch wiederholtes Schmelzen im elektrischen Lichtbogen.

Im Durchschnitt enthielten die zu den Beobachtungen verwendeten Legierungen etwa 65 % Mangan. Zur Untersuchung der lichtschwächsten Linien habe ich mir Legierungen von etwa 70—80 % Mangangehalt hergestellt.

Die Legierungen erwiesen sich, wenn sie mehrere Male geschmolzen waren, als durchaus homogen, sie konnten bearbeitet, zersägt und gefeilt werden. Die Farbe war ein Eisengrau.

Bei höherem Mangangehalt, von etwa 80 % an, trat der Mangancharakter hervor, es machte sich dann eine gewisse Sprödigkeit und große Härte bei der Bearbeitung bemerkbar. Die Herstellung und weitere Behandlung der Legierungen nahm sehr viel Zeit in Anspruch.

Nachdem die kleinen Schmelzmassen durch Feilen die gewünschte Form erhalten hatten, wurden sie mit Silber auf 4 mm dicke Kupferdrähte aufgelötet, die dann weiter in die Messingelektroden des Vakuumunterbrechers eingeschraubt werden konnten.

Bei den nun folgenden Versuchen bildete die Manganlegierung nur den einen, und zwar den ruhenden Pol; als beweglichen benutzte ich einen Kupferstift, da sich zeigte, daß in diesem Falle das Licht gleichmäßiger und besser war als unter Verwendung zweier Vorsatzstücke aus Manganlegierung. Der den Funken liefernde Stromkreis wurde von 12 Akkumulatoren gespeist; die Stromstärke betrug 2—5 Ampère. Die Richtung des Stromes führte zu Beginn eines Versuches immer vom Kupfer zur Legierung. Sollte das Licht längere Zeit gut erhalten werden, so erwies es sich wegen des ziemlich schnellen Abbrennens der Legierung als vorteilhaft, den Strom häufig zu kommutieren. Um die Linien möglichst scharf zu erhalten, mußte noch eine geeignete große Selbstinduktion in den Stromkreis eingeschaltet werden. Gleichzeitig diente die Selbstinduktion zur Verstärkung des Funkens. Die Bestimmung der Wellenlängen der verschiedenen Spektrallinien wurde in folgender Weise ausgeführt. Mit dem Stufengitter ist ein Hilfsspektroskop verbunden, welches den Zweck hat, das Licht vor dem Eintritt in das Gitter spektral zu zerlegen. Dieses Hilfsspektroskop gestattet, die Einstellung der verschiedenen Linien an einer Trommel abzulesen. Mittels der bekannten Kupferlinien, die bei den Versuchen immer mit auftraten, wurde eine Beziehung zwischen den Trommelteilen und den Wellenlängen hergestellt und durch eine Kurve graphisch zur Darstellung gebracht. Aus der Kurve konnten

nun rückwärts für andere Trommelteile die zugehörigen Wellenlängen entnommen werden. Die Identifizierung gelang so bis auf wenige Angström-Einheiten.

Die Wellenlängen der Manganlinien sind nach den Tabellen von Hasselberg[1]) angegeben.

Spektroskopisches Verhalten.

Gleich bei den ersten Beobachtungen der Manganlinien im Stufengitter wurde das Vorhandensein mehrerer Linien mit komplexer Struktur im grünen und gelben Teile des Spektrums bemerkt. Als sicher aus mehreren Komponenten bestehend konnten die Linien $\lambda = 5341{,}22$, $\lambda = 5407{,}63$, $\lambda = 5481{,}67$ erkannt werden. Bei bestem Licht habe ich auch beobachten können, daß die Linien $\lambda = 5399{,}72$ und $\lambda = 5470{,}86$ komplexe Struktur besitzen müssen. Es waren bei beiden zwei Komponenten zu sehen, deren eine ziemlich scharf abfiel, während die andere breit und diffus war. Höchst wahrscheinlich besteht die diffuse Komponente noch aus mehreren Trabanten. Einige weitere Manganlinien erschienen zwar breit und diffus im Stufengitter, ließen aber deutliche Trennungen in mehrere Komponenten nicht erkennen. Ein Versuch, durch weiteres Evakuieren mittels einer Sprengelschen Quecksilberluftpumpe günstigere Bedingungen des Leuchtens zu schaffen, hatte keinen Erfolg.

Es mögen jetzt die quantitativen Werte für die Wellenlängenunterschiede der Linien $\lambda = 5341{,}2$, $\lambda = 5407{,}6$ und $\lambda = 5481{,}7$ folgen:

$\lambda = 5341{,}2$. Bei günstigstem Licht sind im Stufengitter vier nahe bei einander liegende Komponenten zu beobachten. An eine hellere Linie, die Hauptlinie, schließen sich drei

---

[1]) B. Hasselberg, Untersuchungen über die Spektra der Metalle im elektrischen Flammenbogen. IV. Spektrum des Mangans. Kongl. Svenska Akademiens Handlingar 30 1897—1898.

Trabanten an, deren Intensität um so geringer wird, je weiter sie von der Hauptlinie entfernt sind.

Für die Wellenlängendifferenzen ergaben zahlreiche Ausmessungen einer guten Aufnahme folgende Werte (wobei 1 die stärkste Linie bedeutet):

$d\lambda$ in A. E.	Reihenfolge der Intensität
0,000	1
— 0,054	2
— 0,120	3
— 0,186	4

Zur Erläuterung der Tabelle sei noch bemerkt, daß die Messungen von der Hauptlinie ausgehen und mit $-d\lambda$ die stärker brechbaren Trabanten bezeichnet sind.

Die Komponenten —0,120 und —0,186 sind etwas diffus.

$\lambda = 5407{,}6$. Diese Linie gleicht in ihrem Aussehen der Linie $\lambda = 5341{,}2$. Sie besteht ebenfalls aus vier Komponenten. Für die Unterschiede der Wellenlängen wurden folgende Werte gefunden:

$d\lambda$ in A. E.	Reihenfolge der Intensität
0,000	1
— 0,058	2
— 0,097	3
— 0,151	4

Die Komponenten — 0,097 und — 0,151 sind stark diffus und kaum getrennt zu beobachten.

$\lambda = 5481{,}7$. Auch diese Linie zeigt denselben Typus wie die beiden vorhergehenden, sie besteht jedoch zum Unterschied von diesen nur aus drei Komponenten, für die

zahlreiche Ausmessungen zweier Aufnahmen folgende Werte ergaben:

$d\lambda$ in A. E.	$d\lambda$ in A. E.	Reihenfolge der Intensität
0,000	0,000	1
— 0,064	— 0,064	2
— 0,129	— 0,121	3

Die Komponente — 0,125 ist etwas breit und diffus.

Die Belichtungsdauer betrug bei allen drei Linien je 30 Minuten. Die photographischen Aufnahmen waren mit den größten Schwierigkeiten verbunden. Nur bei bestem Licht konnten die nahe beieinander liegenden Komponenten überhaupt getrennt beobachtet werden. Mit Benutzung des Vakuumunterbrechers ist es aber außerordentlich schwer, diesen günstigen Zustand des Leuchtens längere Zeit zu erhalten.

Nach Abschluß meiner Untersuchungen über das Mangan erschien die Arbeit des Herrn Dr. Janicki[1]) über die Beschaffenheit der Spektrallinien verschiedener Elemente.

Die Ergebnisse des Herrn Janicki sind mit Hilfe der Lummer-Platte gefunden worden. Zu den von ihm untersuchten Elementen gehört auch das Mangan. Nach den Angaben des Herrn Janicki bestehen die oben erwähnten Linien $\lambda = 5399{,}72$ und $\lambda = 5470{,}86$,[2]) deren Struktur von mir nicht genau erkannt werden konnte, aus vier, bezw. drei Komponenten und gleichen in ihrem Aussehen der Linie $\lambda = 5341{,}22$.

Die von Herrn Janicki für die Komponenten der Linien λ 5341,2, $\lambda = 5407{,}6$ und λ 5481,7 erhaltenen Wellenlängenunterschiede seien mit meinen Resultaten in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

---

[1]) L. Janicki, Die Beschaffenheit der Spektrallinien der Elemente I. Ann. d. Phys. IV 29, pag. 833—868 (1909).

[2]) pag. 16.

	Janicki	Verfasser
λ	$d\lambda$ in A. E.	$d\lambda$ in A. E.
5341,2	0,000	0,000
	$-0,057_5$	$-0,054_1$
	$-0,108$	$-0,120$
	$-0,149$	
	$-0,183$	$-0,186$
5407,6	0,000	0,000
	$-0,057$	$-0,058$
	$-0,105$	$-0,097$
	$-0,144$	$-0,151$
5481,7	0,000	0,000
	$-0,065$	$-0,064$
	$-0,122$	$-0,125$

Die Wellenlängen der Komponenten der Linie $\lambda = 5481{,}7$ stimmen gut überein. Relativ große Abweichungen zeigen zwei Komponenten der Linie $\lambda = 5407{,}6$. Wegen der Unschärfe dieser Trabanten waren mir genaue Messungen nicht möglich.

Die Linie $\lambda = 5341{,}2$ besteht nach Herrn Janicki aus fünf Komponenten, während ich ebenso wie Michelson[1]) nur vier beobachten konnte. Der Unterschied ist wohl in den verwendeten Lichtquellen begründet. Aehnliche Unterschiede ergeben sich z. B. für die gelben Kupferlinien $\lambda = 5782{,}3$ und $\lambda = 5700{,}4$. Nach Herrn Janicki bestehen diese aus je drei Komponenten. Im Stufengitter sind dagegen unter Benutzung des Vakuumunterbrechers nur je zwei Komponenten zu sehen, obwohl das Auflösungsvermögen des Stufengitters bequem hinreichen würde, die von Herrn Janicki bestimmten drei Komponenten zu trennen. Es ist darum sehr wohl möglich, daß die Manganlinie $\lambda = 5341{,}2$

[1]) A. A. Michelson, Astrophys. Journ. 8, pag. 36—47 (1898).

tatsächlich aus fünf Komponenten zusammengesetzt ist. Für spektroskopische Untersuchungen so feiner Natur bildet dann eben der Vakuumunterbrecher nicht die günstigste Lichtquelle.

Magnetisches Verhalten.

Es mußte zunächst untersucht werden, ob durch die Einführung der Legierung in das Magnetfeld die Feldstärke geändert wird. Als beweglicher Pol wurde ein Kupferstift, als ruhender Pol die Legierung verwendet. Der Strom ging zunächst immer vom Kupfer zur Legierung. Nach einigen Minuten wurde auf kurze Zeit kommutiert, um das Licht länger gut zu erhalten Würde durch die Umkehrung der Stromrichtung die Aufspaltung der Linien geändert, so müßten bei sonst unveränderter äußerer Feldstärke die Messungen für $\frac{d\lambda}{\lambda^2}$ je nach der Stromrichtung andere Werte ergeben. Daß dies nicht der Fall ist, zeigt die folgende Tabelle.

λ	$\frac{d\lambda}{\lambda^2}$	
	Cu ➤—➤ Legierung	Legierung ➤—➤ Cu
Mn 4783,60	$0{,}37_1$	$0{,}37_0$
Mn 4451,75	$0{,}47_8$	$0{,}47_4$

Das Kommutieren war also gestattet. Würde nun durch die Einführung der Legierung in das Magnetfeld die Feldstärke um einen bestimmten Betrag geändert, so müßten sich für die ständig mit auftretende Kupferlinie $\lambda = 5218{,}3$ bei derselben äußeren Feldstärke für $\frac{d\lambda}{\lambda^2}$ andere Werte ergeben, wenn einmal beide Elektroden aus Kupferstiften bestehen, das andere Mal die eine *Cu*-Elektrode gegen die Legierung ausgetauscht wird. Das ist nicht der Fall, wie die folgende Tabelle lehrt.

Cu 5218,3

Feststehende Elektrode	$\frac{d\lambda}{\lambda^2}$
Cu	$0{,}53_1$
Legierung, 60 % Mn	$0{,}52_3$
Legierung, 65 % Mn	$0{,}52_9$
Legierung, 75 % Mn	$0{,}53_1$

Das Magnetfeld wird also durch Einführung der Legierung nicht merklich geändert.

Es mögen jetzt die quantitativen Ergebnisse für die Trennungen der verschiedenen Linien folgen. Mit Ausnahme von $\lambda = 4727{,}63$ und $\lambda = 4709{,}87$, die in je vier Komponenten zerlegt werden, sind sämtliche Linien Triplets. Die Indices „i“ und „a“ geben nach der S. 9 getroffenen Festsetzung an, daß die Messungen auf den Ordnungsabstand innerhalb, bezw. außerhalb des Magnetfeldes bezogen sind. Bei der Berechnung ist λ der absoluten Einheit des Gauß entsprechend in cm angenommen worden.

λ	H	$\frac{d\lambda i}{H} \cdot 10^{13}$	$\frac{d\lambda a}{H} \cdot 10^{13}$	$\frac{d\lambda i}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	$\frac{d\lambda a}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	Belichtungsdauer
5255,51	9574	1,41	—	5,11	—	35 Min.
	10280	1,44	1,43	5,21	5,16	35 „
5196,77	8160	1,36	1,36	5,05	5,05	45 Min.
	9275	1,35	—	5,01	—	45 „
5074,97	7030	1,70	—	6,61	—	90 Min.
5005,10	6985	1,50	—	6,00	—	70 Min.
	7980	1,50	—	6,01	—	80 „
4966,02	6600	1,56	—	6,32	—	50 Min.
	7700	1,58	1,59	6,42	6,44	60 „
	8120	1,56	1,57	6,34	6,36	60 „
4783,60	6225	1,92	1,90	8,37	8,30	1 Min.
	6225	1,94	1,92	8.47	8,40	2 „
	6600	1,98	1,98	8,65	8,65	4 „

λ	H	$\frac{d\lambda i}{H} \cdot 10^{13}$	$\frac{d\lambda a}{H} \cdot 10^{13}$	$\frac{d\lambda i}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	$\frac{d\lambda a}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	Belichtungsdauer
4727,63	6675	$0{,}73_7$ ∥ d. Kraftl. 1,23 ⊥ „ „		3,30 ∥ d. Kraftl. 5,51 ⊥ „ „		6 Min. 6 „
	6675	$0{,}73_3$ ∥ d. Kraftl. 1,24 ⊥ „ „		3,28 ∥ d. Kraftl. 5,56 ⊥ „ „		6 „ 6 „
	8120	$0{,}74_4$ ∥ d. Kraftl. 1,28 ⊥ „ „		3,33 ∥ d. Kraftl. 5,72 ⊥ „ „		6 „ 6 „
4709,87	7770	$0{,}54_9$ ∥ d. Kraftl. 1,32 ⊥ „ „		2,47 ∥ d. Kraftl. 5,96 ⊥ „ „		8 Min. 5 „
	8120	$0{,}55_0$ ∥ d. Kraftl. 1,35 ⊥ „ „		2,48 ∥ d. Kraftl. 6,11 ⊥ „ „		8 „ 6 „
4626,74	10440	$0{,}94_3$	$0{,}93_9$	4,40	4,39	6 Min.
	10550	$0{,}96_9$	$0{,}96_5$	4,52	4,51	6 „
	10985	$0{,}96_2$	$0{,}95_9$	4,49	4,48	6 „
	11485	$0{,}95_5$	$0{,}95_7$	4,46	4,47	8 „
4605,55	9480	$0{,}93_4$	$0{,}93_9$	4,40	4,43	8 Min.
	10642	$0{,}96_4$	$0{,}97_7$	4,55	4,61	8 „
	10820	$0{,}95_8$	$0{,}96_7$	4,52	4,56	8 „
4502,38	6403	1,32	—	6,52	—	2 Min.
	7500	1,34	1,37	6,63	6,74	2 „
	8120	1,33	1,34	6,56	6,61	2 „
4451,75	6800	1,27	1,28	6,43	6,46	2 Min.
	7375	1,27	1,27	6,42	6,42	3 „
	7375	1,28	1,29	6,48	6,50	2 „
4436,52	7110	1,29	—	6,57	—	6 Min.
	7375	1,30	1,30	6,60	6,62	8 „
	7840	1,28	1,29	6,52	6,57	8 „
4415,06	6403	1,27	1,28	6,51	6,56	4 Min.
	7275	1,29	1,29	6,61	6,60	6 „
	8120	1,28	1,28	6,59	6,59	6 „

Wie die Messungen zeigen, besteht für die verwendeten Magnetfelder Proportionalität des Effekts mit der Feldstärke.

Die Polarisation war überall die normale, d. h. die Mittellinie jedes Triplets und die beiden mittleren Komponenten der Quartets schwingen parallel, die seitlichen Komponenten senkrecht zu den Kraftlinien.

Den quantitativen Ergebnissen sind noch einige Bemerkungen über das Verhalten der Linien in höheren Magnetfeldern hinzuzufügen.

$\lambda = 5255{,}51$ und $\lambda = 5196{,}77$. Die Mittellinien erscheinen bei Anwendung hoher Magnetfelder von etwa 12 700 Gauß an ein wenig verbreitert und diffus. Die seitlichen Komponenten überlagern sich bei diesen Feldstärken mit den äußeren Komponenten der Nachbarordnungen. Höherer Zerfall als in Triplets ist nicht anzunehmen.

$\lambda = 5074{,}97$ und $\lambda = 5005{,}10$. Die Intensität dieser beiden an sich schon sehr lichtschwachen Linien nimmt in höheren Magnetfeldern noch weiter ab. Gleichzeitig ist eine geringe Verbreiterung der parallel den Kraftlinien schwingenden Komponente zu bemerken. Eine Zerlegung in eine größere Zahl von Komponenten ist möglich, aber nicht wahrscheinlich.

$\lambda = 4966{,}02$. Die Mittellinie bleibt bis zu den höchsten Feldern von etwa 15 000 Gauß scharf und unverbreitert. Die seitlichen Komponenten überdecken sich bei ca. 11 700 Gauß mit den äußeren Komponenten der Nachbarordnungen und erscheinen bei etwa 14 300 Gauß wieder deutlich getrennt. Höherer Zerfall ist ausgeschlossen.

$\lambda = 4783{,}60$. Diese stark zerfallende Linie ist als Triplet photographiert worden. Die Beobachtung mit dem Nikol läßt jedoch bei ca. 14 700 Gauß deutlich zwei parallel den Kraftlinien schwingende Komponenten erkennen. Die senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten entfernen sich sehr weit von der Stelle der ursprünglichen Linie und überlagern sich, ohne daß eine weitere Aufspaltung eintritt, bei etwa 14 700 Gauß mit den parallel zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten der Nachbarordnungen. Aus diesem Grunde hätte eine photographische Aufnahme als Quartet nur durch Vorschaltung eines Nikols erfolgen können. Die Intensität

erwies sich jedoch bei diesen hohen Feldern als zu gering. Höherer Zerfall als in ein Quartet ist wohl ausgeschlossen.

$\lambda = 4727{,}63$ und $\lambda = 4709{,}87$ ergeben in schwachen Magnetfeldern Zerlegungen in je vier Komponenten, deren mittlere von den seitlichen jedoch nur durch Beobachtung mit dem Nikol deutlich unterschieden werden können. Die photographischen Aufnahmen der parallel und senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten sind nacheinander unter Vorschaltung eines Nikols angefertigt worden.

Die senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten sind etwas diffus. Indessen ist eine weitere Zerlegung auch bei stärkeren Magnetfeldern nicht anzunehmen.

$\lambda = 4626{,}74$ und $\lambda = 4605{,}55$. Die Mittellinien dieser Triplets bleiben bis zu den höchsten Feldern scharf und zeigen keine Verbreiterung. Die seitlichen Komponenten überdecken sich in höheren Feldern mit den äußeren Komponenten der Nachbarordnungen, ohne sich bei weiterer Steigerung der Feldstärke zu überkreuzen. Höherer Zerfall ist wohl ausgeschlossen.

$\lambda = 4502{,}38$, $\lambda = 4451{,}75$, $\lambda = 4436{,}52$ und $\lambda = 4415{,}06$. Die parallel zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten dieser leicht zerfallenden Linien sind bis zu etwa 15000 Gauß scharf und, mit Ausnahme der Linie $\lambda = 4436{,}52$, unverbreitert. Bei $\lambda = 4436{,}52$ ist in höheren Feldern eine geringere Verbreiterung der Mittellinie zu bemerken. Die senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten überkreuzen sich bei wachsender Feldstärke mit den äußeren Komponenten der Nachbarordnungen. Eine weitere Aufspaltung als in drei Komponenten ist nicht anzunehmen.

Ergänzend hinzuzufügen sind noch die qualitativen Beobachtungen der Zerlegungen mehrerer Linien, von denen eine photographische Aufnahme nicht erzielt werden konnte.

$\lambda = 6021{,}8$
$6016{,}6$
$6013{,}6$ Diese drei Linien sind im Spektrum, wie es durch das Hilfsspektroskop erzeugt wird, als drei soeben noch getrennt wahrnehmbare, gleich helle Linien zu erkennen. Im Stufengitter sind zwei nahe beieinander liegende, etwas breite Linien von fast gleicher Intensität zu beobachten. Beide zerfallen bei etwa 4500 Gauß in je drei Komponenten, deren mittlere, parallel zu den Kraftlinien schwingende diffus verbreitert sind. Der definitive Zerfall konnte wegen der Nähe der Linien nicht beobachtet werden.

$\lambda = 5738{,}49$ gibt bis zu den höchsten Magnetfeldern ein normales, sehr lichtschwaches Triplet.

$\lambda = 5481{,}67$ und $\lambda = 5407{,}63$. Diese komplexen Linien sind im Magnetfelde völlig diffus und lassen einen Schluß über das Verhalten der einzelnen Komponenten nicht zu.

$\lambda = 5377{,}83$ ist ohne Nikol betrachtet völlig diffus. Die Beobachtung mit dem Nikol ergibt in schwachen Feldern ein normales Triplet mit etwas verbreiterter Mittellinie. Bei ca. 13000 Gauß scheint die Mittellinie in vier Komponenten gespalten zu sein, von denen die beiden mittleren intensiver sind als die seitlichen. Die senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten sind diffus und werden in höheren Feldern störend beeinflußt von den seitlichen Komponenten der Nachbarordnungen.

Nach den parallel den Kraftlinien schwingenden Linien zu schließen, liegt wohl ein Zerfall in zwölf Komponenten vor.

$\lambda = 5341{,}22$. Diese komplexe Linie ist bereits von A. A. Michelson[1]) auf ihr Verhalten im Magnetfelde untersucht worden. Nach Michelson nimmt in schwachen Feldern die Helligkeit in der Mitte der Gruppe zu, die einzelnen Linien werden unbestimmt. In starken Feldern ist das natürliche Quartet der ursprünglichen Linie auf eine einzige feine Linie reduziert.

[1]) A. A. Michelson, Astrophys. Journ. 8, pag. 36—47 (1898).

Nach meinen Beobachtungen stellt sich die Erscheinung etwas anders dar. Ohne Nikol betrachtet ist bei Anwendung schwacher Magnetfelder nur ein diffuser heller Streifen zu erkennen. Mit wachsender Feldstärke nimmt die Helligkeit in der Mitte zu, zugleich sind aber zu beiden Seiten zwei Helligkeitsmaxima zu beobachten. Steigert man die Feldstärke noch weiter, bis auf ca. 8150 Gauß, so sind deutlich drei ziemlich scharfe Linien zu sehen, deren mittlere die beiden äußeren ein wenig an Intensität übertrifft. Der Eindruck gleicht dem eines gewöhnlichen Triplets. Die Beobachtung mit dem Nikol zeigt jedoch, daß die drei Komponenten sowohl senkrecht wie parallel zu den Kraftlinien polarisiert sind, was durch Superposition von Komponenten zu erklären ist. Ueber das Verhalten der einzelnen Komponenten der ursprünglichen Linie kann nichts Bestimmtes ausgesagt werden. Sicher scheint nach den Beobachtungen, daß die vier Komponenten, wie es bei komplexen Linien gewöhnlich zu geschehen pflegt, einzeln und nicht wie eine einzige Linie zerfallen.

$\lambda = 4823{,}71$ und $\lambda = 4754{,}23$ werden durch schwache Magnetfelder in diffuse Triplets zerlegt, deren mittlere, parallel den Kraftlinien schwingende Komponenten sich mit wachsender Feldstärke diffus verbreitern. Eine Trennung in mehrere Komponenten war nicht zu beobachten. Wahrscheinlich liegt höherer, ungerader Zerfall, wohl in neun Komponenten vor.

$\lambda = 4766{,}58$
$4766{,}02$
$4662{,}54$
$4661{,}68$

An dieser Stelle erscheinen zwei Linien, die beide in schwachen Magnetfeldern normale Triplets werden.

$\lambda = 4499{,}06$ tritt gleichzeitig mit $\lambda = 4502{,}38$ im Stufengitter auf. Im Magnetfelde findet Zerlegung in ein normales Triplet statt.

$\lambda = 4490{,}28$ läßt in schwachen Magnetfeldern ein diffuses, normales Triplet erkennen, dessen Mittellinie durch

Steigerung der Feldstärke bis zu 15000 Gauß keine merkliche Verbreiterung erfährt. Höherer Zerfall ist wohl ausgeschlossen.

$\lambda = 4257{,}80$ erscheint in schwachen Magnetfeldern bei der Beobachtung mit dem Nikol als Quartet, dessen mittlere Komponenten parallel, dessen äußere senkrecht zu den Kraftlinien schwingen. Eine weitere Zerlegung ist nicht zu beobachten.

$\lambda = 4235{,}45$ und $\lambda = 4235{,}28$ sind gleichzeitig im Stufengitter zu sehen. Beide zerfallen in schwachen Magnetfeldern in normale Triplets. In höheren Feldern sind nur die mittleren Komponenten zu verfolgen, die mit wachsender Feldstärke etwas diffus werden. Höherer Zerfall ist möglich, aber nicht wahrscheinlich.

Linienserien lassen sich auf Grund dieser Zerlegungen, die zum größten Teile aus Triplets bestehen, schwer gewinnen.

Einige gleiche Trennungen und einfache Beziehungen bestehen für folgende Linien:

$\lambda = 5005{,}10$	$\frac{d\lambda}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5 = 6{,}01$		
$\lambda = 4709{,}87$	„	$= 6{,}03$	
($\perp$ Komp. des Quartets)			
$\lambda = 4626{,}74$	„	$= 4{,}47$	
$\lambda = 4605{,}55$	„	$= 4{,}51$	
$\lambda = 4709{,}87$			
($\parallel$ Komp. des Quartets)	„	$= 2{,}48$	nahe $= 3 \cdot 0{,}825$
$\lambda = 4727{,}63$			
($\parallel$ Komp. des Quartets)	„	$= 3{,}30$	$= 4 \cdot 0{,}825$
$\lambda = 5196{,}77$	„	$= 5{,}03$	nahe $= 6 \cdot 0{,}825$
$\lambda = 5074{,}97$	„	$= 6{,}61$	nahe $= 8 \cdot 0.825$
$\lambda = 4502{,}38$	„	$= 6{,}61$	
$\lambda = 4436{,}52$	„	$= 6{,}58$	
$\lambda = 4415{,}05$	„	$= 6{,}58$	

Von Kayser und Runge [1]) sind im Spektrum des Mangans zwei Serien aufgestellt worden, denen aber außer den hellblauen Linien $\lambda = 4823{,}71$, $\lambda = 4783{,}60$ und $\lambda = 4754{,}23$ nur ultraviolette Linien angehören.

Vergleich mit schon vorhandenen Resultaten.

Die Zerlegungen mehrerer von mir untersuchter Linien sind schon in den Arbeiten der Herren Purvis [2]) und Miller [3]) angegeben. Diese mit Hilfe von Rowland-Gittern gewonnenen Resultate weichen jedoch stark voneinander ab, wie die unten angeführte Tabelle für einige Linien zeigen wird.

Purvis wie Miller geben die quantitativen Werte der Trennungen in der Form $\frac{d\lambda}{\lambda^2}$ für bestimmte Feldstärken an, und zwar Purvis für $H = 39980$, Miller für $H = 23850$ Gauß. Meine Resultate haben die Form $\frac{d\lambda}{\lambda^2 \cdot H}$. Ein Vergleich kann nun einmal in der Weise vorgenommen werden, daß die von Purvis und Miller angegebenen Werte $\frac{d\lambda}{\lambda^2}$ durch die Feldstärken dividiert werden und umgekehrt so, daß aus allen drei Untersuchungen $\frac{d\lambda}{\lambda^2}$ für eine bestimmte mittlere Feldstärke ausgerechnet wird. Hierzu eignet sich die Feldstärke von H 23 850 Gauß, die ungefähr in der Mitte zwischen der von Purvis und mir verwendeten liegt. Aus meinen Werten $\frac{d\lambda_a}{\lambda^2 H}$ und $\frac{d\lambda_i}{\lambda^4 \cdot H}$ habe ich für den Vergleich das Mittel genommen.

---

[1]) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie 1902 Bd. 2, pag. 551.

[2]) J. E. Purvis, The influence of a strong magnetic field on the spark spectra of titanium, chronium and manganese. Proceed. of the Cambr. Phil. Soc. Vol. XIV Pt. I, pag. 41—84 (1906).

[3]) W. Miller, Zeemaneffekt an Magnesium, Calcium, Strontium, Zink, Kadmium, Mangan und Chrom. Ann. d. Phys. IV 24, pag. 105—133 (19 7).

	Purvis		Miller		Verfasser	
λ	$\frac{d\lambda}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	$\frac{d\lambda}{\lambda^2}$	$\frac{d\lambda}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	$\frac{d\lambda}{\lambda^2}$	$\frac{d\lambda}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	$\frac{\lambda d}{\lambda_2}$
4783,60	6,77	1,61	8,87	2,12	8,47	2,02
4502,38	—	—	6,81	1,63	6,61	1,58
4451,75	5,35	1,28	6,46	1,54	6,45	1,54
4436,52	—	—	6,77	1,62	6,58	1,57
4415,06	—	—	6,77	1,62	6,58	1,57

Von den qualitativen Beobachtungen sei noch bemerkt, daß die Linien $\lambda = 4823{,}71$ und $\lambda = 4754{,}23$, welche nach Miller Triplets sind, höchst wahrscheinlich in eine größere, ungerade Zahl von Komponenten zerfallen. $\lambda = 4783{,}60$ gibt nach Purvis und Miller ein Triplet, während ich schon bei mittleren Feldstärken von ca. 14 700 Gauß mit dem Stufengitter deutlich ein Quartet erkennen konnte.

Zum Schluß sei noch eine Beobachtung in bezug auf die Intensität der Komponenten erwähnt. Miller hat bei den Zerlegungen gefunden, daß die mittlere Komponente bedeutend schwächer ist als die seitlichen. Purvis hat diese Erscheinung offenbar nicht beobachten können. Er sagt über die Intensität der Komponenten nur, daß die mittlere gewöhnlich die stärkste sei, und daß bei einigen Linien die beiden äußeren Komponenten im Vergleich zu der intensiven Mittellinie außerordentlich schwach seien. Auch ich habe die Beobachtung Millers nirgends bestätigt gefunden, obwohl einige der von mir untersuchten Linien, wie $\lambda = 4783{,}60$ und $\lambda = 4451{,}75$, diese Eigentümlichkeit hätten zeigen müssen. Bei allen Linien waren die mittleren Komponenten, wenn mitunter auch wenig, so doch immer noch merklich heller als die seitlichen.

Die Argonlinien.

Einige Vorversuche ergaben ziemlich günstige Aussichten für eine nähere Untersuchung des Zeeman-Phänomens an den Linien des Argons. In dankenswerter Weise wurde mir von Herrn Geheimrat Dorn das nötige Argon zur Verfügung gestellt. Zu den Versuchen dienten Geißlerröhren von der gewöhnlichen Plückerform mit Zylinderelektroden aus Aluminium. Vor der Füllung mit Argon wurden die Röhren mehrere Stunden lang sorgfältig geglüht, wiederholt mit trockner Luft gespült und evakuiert. Um das Argon von den anhaftenden Quecksilberdämpfen zu befreien, wurde es durch ein U-förmiges Rohr geleitet, das mit Silberspänen gefüllt und durch ein Gemisch von fester Kohlensäure und Alkohol auf eine Temperatur von ca. -72^0 gebracht worden war. Trotz dieser Vorsichtsmaßregel waren doch im Spektrum die beiden gelben Quecksilberlinien deutlich zu sehen. Sie verschwanden aber völlig, nachdem die Entladung etwa eine Stunde lang durch die Röhre stattgefunden hatte, noch schneller, wenn die Röhre während der Entladung der Wirkung eines ziemlich kräftigen Magnetfeldes ausgesetzt war. Erst dann traten die Argonlinien besonders leuchtend und scharf hervor. Verunreinigungen anderer Art waren spektroskopisch nicht zu erkennen, das Argon erwies sich als völlig rein. Gefüllt wurden die Röhren bei einem Druck von 2,0—2,5 mm.

Spektroskopisches Verhalten des Argons.

Gewöhnlich unterscheidet man zwei verschiedene Spektren des Argons, das „rote“ und das „blaue“, wie sie von dem Entdecker beider, W. Crookes[1]), bezeichnet worden sind.

Das rote oder auch das erste Argonspektrum wird stets erhalten, wenn man den Funken eines mittleren Induktoriums ohne Einschaltung einer Leydener Flasche durch eine bei

[1]) J. M. Eder und E. Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. Wien 1904, pag. 220.

mäßigem Druck, etwa 2—5 mm, gefüllte Röhre schlagen läßt. Bei der Entladung leuchtet die Kapillare intensiv rot. Vermindert man den Gasdruck und schaltet eine Leydener Flasche parallel zur Röhre, indem man gleichzeitig in dem Sekundärkreise eine kleine Funkenstrecke offen läßt, so erstrahlt der kapillare Teil der Röhre in blauem Licht, und es erscheint eine Reihe neuer Linien, besonders im blauen Teile des Spektrums. Sehr schön konnten diese Erscheinungen beim Füllen der Röhren mit einem gewöhnlichen Spektralapparat beobachtet werden. Die Linien des blauen Spektrums traten bei einem Druck von 2,0—2,2 mm besonders hell und scharf hervor.

Es sei noch erwähnt, daß Eder und Valenta bei Röhren mit höherem Druck durch Einschaltung einer größeren Zahl von Oelkondensatoren in die Sekundärleitung eines großen Induktoriums ein drittes, das sogenannte „weiße" Argonspektrum entdeckt haben.

Verhalten des Argons im Magnetfelde.

Zur Untersuchung der Argonlinien im Magnetfelde wurde der kapillare Teil der Geißlerröhre zwischen die konischen Polschuhe des Elektromagneten gebracht, so daß die Stromrichtung senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien war. Den Induktionsstrom lieferte unter Benutzung des Deprez-Unterbrechers ein Induktorium mittlerer Größe von ungefähr 30 cm Funkenstrecke (Primärstrom: 14 Volt Spannung, 3—4 Ampère Stromstärke). Um die Linien möglichst scharf zu erhalten, war in den Sekundärkreis des Induktoriums noch eine passend gewählte Selbstinduktion eingeschaltet.

Mit der Erregung des Magneten und dem Verstärken des Magnetfeldes war eine erhebliche Steigerung der Potentialdifferenz zwischen den Elektroden der Entladungsröhre verbunden, wie ich an einer parallel geschalteten Funkenstrecke

---

[1]) J. M. Eder und E. Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. Wien 1904, pag. 223, 224, 230.

erkennen konnte. Fand vor der Erregung kein Funkenübergang mehr statt, so setzte er sofort lebhaft ein, sobald der Stromkreis des Elektromagneten geschlossen wurde. Unter dem Einfluß des magnetischen Feldes muß offenbar der Widerstand des Gases in der Röhre beträchtlich zugenommen haben.

Daß durch die Einwirkung des Magnetfeldes eine außerordentliche Steigerung der elektrischen Energie im Entladungskreise hervorgerufen wird, konnte ich sehr deutlich mittels eines Rießschen Elektrothermometers feststellen.

Bei der Betrachtung der Linien durch das mit dem Stufengitter verbundene Hilfsspektroskop und auch im Stufengitter selbst, war, sobald die leuchtende Röhre in das Magnetfeld gebracht wurde, eine Zunahme der Intensität der Linien, sowohl der des roten als auch der des blauen Spektrums zu erkennen.

Diese Beobachtungen sind, wie ich am Ende meiner Untersuchungen bemerkte, bereits von Herrn Dr. G. Berndt[1]) gemacht worden. Er schreibt die Intensitätsänderungen dem Anwachsen des Widerstandes des Gases im Magnetfelde zu.

Erwähnen möchte ich noch, daß ohne Selbstinduktion die Helligkeitszunahme an den Linien des blauen Spektrums kaum zu sehen war. Bei eingeschalteter Selbstinduktion war sie gerade an diesen Linien besonders auffallend, ihre Intensität wurde fast durchweg auf das Doppelte gesteigert.

Bemerkenswert ist noch folgende Beobachtung. Ohne Einschaltung einer Leydener Flasche ergaben die von mir benutzten Röhren ein nahezu reines rotes Argonspektrum. Wurden sie aber einem kräftigen Magnetfeld ausgesetzt, so traten einige neue Linien auf, die für das blaue Spektrum charakteristisch sind, so die Linien mit den Wellenlängen

5062,35, 5017,46, 5009,65
4847,94, 4765,04, 4727,00.[2])

---

[1]) G. Berndt, Gasspektra im Magnetfelde. Ann. d. Phys. IV Bd. 8, pag. 625–642 (1902).

[2]) Die Wellenlängen sind den Tabellen von Eder und Valenta entnommen.

Unter dem Einfluß eines starken Magnetfeldes hat offenbar bei einem niedrigen Gasdruck das rote Spektrum eine gewisse Neigung in das blaue überzugehen. Interessant war die Beobachtung dieser Erscheinung im rotierenden Spiegel. Vor der Erregung des Magneten strahlte die Röhre bei der Entladung in intensiv rotem Licht, und im rotierenden Spiegel sah man ein breites rotes Lichtband ohne eine Spur blauen Lichtes. Wurde nun der Magnet ziemlich kräftig erregt, so war eine wesentliche Farbenänderung der Röhre nicht zu bemerken, aber in dem breiten roten Bande im rotierenden Spiegel erschien ein schmaler blauer Streifen, und zugleich deutete jetzt das Aussehen der Lichterscheinung auf oscillatorische Entladungen hin.

Wurde von vornherein der Flaschenfunke zur Entladung benutzt, so leuchtete die Kapillare vor der Erregung des Magneten schön blau. Im rotierenden Spiegel waren innerhalb eines breiten blauen Lichtbandes noch einzelne rote Streifen zu erkennen, die aber fast völlig verschwanden, sobald die Röhre den magnetischen Kraftlinien ausgesetzt wurde. Dabei war gleichzeitig eine beträchtliche Steigerung der Helligkeit des kapillaren Teiles der Röhre zu beobachten; die Farbe ging in hellblau und bei weiterem Verstärken des magnetischen Feldes in intensiv blauweiß über.

Die Vermutung, daß jetzt das Spektrum dem von Eder und Valenta entdeckten dritten oder weißen Spektrum entsprechen würde, zeigte sich nicht recht bestätigt. Es handelte sich im wesentlichen nur um Helligkeitsunterschiede der Linien, und zwar durchweg um eine mehr oder minder große Zunahme der Intensität aller. Außerdem traten einige neue Linien auf, die nach der von Eder und Valenta aufgestellten Tabelle dem roten und blauen Spektrum zuzuzählen, aber für gewöhnlich sehr schwach sind.

Möglich wäre es immerhin, daß bei dieser Versuchsanordnung, also ohne Verwendung einer größeren Zahl von Oelkondensatoren, Röhren mit höherem Druck (etwa 20 mm)

unter der Einwirkung eines kräftigen Magnetfeldes das von Eder und Valenta beschriebene dritte Spektrum ergeben würden.

Ueber die eigentlichen Zerlegungen der Argonlinien im Magnetfelde sind mir von älteren Arbeiten nur die Untersuchungen des Herrn G. Berndt[1]) über Gasspektra im Magnetfelde und die Angaben der Herren A. A. Michelson[2]) und W. Lohmann[3]) bekannt, nach denen die rote Argonlinie $\lambda = 6966$ in ein Triplet zerlegt wird. G. Berndt hat alle drei Argonspektren mit einem Stufengitter von geringerer auflösender Kraft in bezug auf das Zeeman-Phänomen untersucht, ist aber teils wegen der Lichtschwäche der Linien, teils wegen ihrer diffusen Verbreiterung zu keinem rechten Ergebnis gekommen.

Die vorwiegend dem roten Spektrum angehörenden Linien erwiesen sich bei meinen Untersuchungen für photographische Aufnahmen zu lichtschwach. Indessen konnte wenigstens bei einigen der qualitative Zerfall festgestellt werden.

$\lambda = 6964{,}8$ (nach Michelson und Lohmann 6966) ergibt schon in relativ schwachen Magnetfeldern ein Triplet. Höherer Zerfall ist wohl ausgeschlossen.

Als normale lichtschwache Triplets sind ferner noch folgende Linien beobachtet worden:

$\lambda = 5651{,}03$; $\lambda = 5607{,}44$; $\lambda = 5559{,}02$; $\lambda = 5496{,}16$; $\lambda = 5187{,}47$.

Die Linien des blauen Spektrums, die nach Einschaltung einer Leydener Flasche und einer kleinen Funkenstrecke

[1]) G. Berndt, Gasspektra im Magnetfelde. Ann. d. Phys. IV Bd. 8, pag. 625—642 (1902).

[2]) A. A. Michelson, Astrophys. Journ. 8, pag. 36—47 (1898).

[3]) W. Lohmann, Beiträge zur Kenntnis des Zeeman-Phänomens. Diss. Halle a. S. 1906, pag. 64.

hervortraten, zeichneten sich gegenüber den Linien des roten Spektrums durch größere Helligkeit aus. Es bedurfte jedoch zahlreicher Abänderungen der Kapazität und der Selbstinduktion, bevor die Linien des blauen Spektrums im Stufengitter hinreichend scharf erschienen. Leider wurden die meisten beim Einschalten des Magnetfeldes doch wieder mehr oder weniger diffus, und es war nicht möglich, diese Unschärfe durch weitere Abänderungen im Entladungskreise zu beseitigen. Indessen konnte doch der definitive Zerfall der Mehrzahl der Linien beobachtet, einige konnten sogar photographisch aufgenommen und ausgemessen werden. Die photographischen Aufnahmen bereiteten große Schwierigkeiten. Die Belichtungszeiten waren zwar verhältnismäßig kurz — 5 bis 35 Minuten — aber die ganze Dauer einer Aufnahme war weit länger, da immer nur Bruchteile einer Minute belichtet werden durfte, einmal um die Röhre nicht allzusehr zu gefährden, dann aber auch, weil sich zeigte, daß bei längerer Entladung im Magnetfelde die Linien diffuser wurden.

Die photographierten Linien sind sämtlich Triplets. Für die magnetischen Trennungen ergaben die Ausmessungen folgende Werte:

λ	H	$\frac{d\lambda i}{H} \cdot 10^{13}$	$\frac{d\lambda i}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$
	8030	1,35	5,66
4880,14	8770	1,34	5,63
	8770	1,36	5,70
	5895	1,73	7,47
4806,17	5895	1,73	7,49
	6940	1,73	7,51
	6585	1,57	7,02
4736,03	6940	1,55	6,92
	7295	1,57	6,98

λ	H	$\frac{d\lambda i}{H} \cdot 10^{13}$	$\frac{d\lambda i}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$
4609,73	8770	1,12	5,29
	9875	1,13	5,32
4545,26	8030	1,18	5,73
	8030	1,20	5,80
	8030	1,20	5,83

Durch den Index „i“ an $d\lambda$ soll nach der früher getroffenen Festsetzung[1]) angedeutet werden, daß die eben angegebenen Resultate unter Benutzung des Ordnungsabstandes der Linien innerhalb des Magnetfeldes gefunden worden sind.

Von der hellsten Linie $\lambda = 4806{,}17$ ist auch eine Aufnahme des zugehörigen Ordnungsabstandes außerhalb des Magnetfeldes gemacht worden. Für die magnetischen Trennungen ergeben sich unter Berücksichtigung des Ordnungsabstandes innerhalb und außerhalb des Magnetfeldes folgende Werte:

$\lambda = 4806{,}17$

H	$\frac{d\lambda i}{H} \cdot 10^{13}$	$\frac{d\lambda a}{H} \cdot 10^{13}$	$\frac{d\lambda i}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$	$\frac{d\lambda a}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$
5895	$1{,}72_5$	$1{,}73_2$	$7{,}46_8$	$7{,}49_9$
5895	$1{,}73_0$	$1{,}73_5$	$7{,}49_1$	$7{,}51_1$
6940	$1{,}73_4$	$1{,}73_9$	$7{,}50_6$	$7{,}52_8$

Der Unterschied zwischen $\frac{d\lambda i}{H} \cdot 10^{13}$ und $\frac{d\lambda a}{H} \cdot 10^{13}$, resp. $\frac{d\lambda i}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$ und $\frac{d\lambda a}{\lambda^2 \cdot H} \cdot 10^5$ beträgt noch nicht $^1/_2{}^0/_0$. Aehnliche geringe Unterschiede würden sich wahrscheinlich auch für die übrigen Linien ergeben haben, die jedoch wegen ihrer Lichtschwäche außerhalb des Magnetfeldes nicht noch einmal

[1]) cf. pag. 9.

besonders photographisch aufgenommen worden sind. Einen Schluß auf etwa vorhandene Serienlinien lassen die quantitativen Werte für die magnetischen Trennungen nicht zu. Serienlinien sind bisher in den Argonspektren nicht aufgefunden worden.

Die ausgemessenen Linien, von denen $\lambda = 4609{,}73$ und $\lambda = 4545{,}26$ ziemlich stark diffus sind, verhalten sich auch in höheren Magnetfeldern durchaus wie normale Triplets. Bei allen ist von etwa 16 000 Gauß an eine schwache Verbreiterung der parallel den Kraftlinien schwingenden Komponente zu beobachten, jedoch ist höherer Zerfall wohl ausgeschlossen.

Es möge jetzt noch das Verhalten einiger Linien angegeben werden, die ihres diffusen Aussehens wegen eine photographische Aufnahme nicht gestatteten, deren qualitativer Zerfall aber wenigstens zum Teil durch Okularbeobachtung mit Benutzung des Nikols festgestellt werden konnte.

Beobachtung senkrecht zu den Kraftlinien.

$\lambda = 5062{,}35$ erscheint in schwachen Magnetfeldern bei etwa 6000 Gauß als diffuses Triplet. Die Beobachtung mit dem Nikol läßt mit wachsendem Magnetfeld eine zunehmende Verbreiterung der parallel den Kraftlinien schwingenden Komponente erkennen. Bei etwa 17 000 Gauß konnte deutlich eine Trennung in zwei etwas diffuse Linien festgestellt werden.

Die beiden senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten überlagern sich schon in schwächeren Feldern mit den seitlichen Komponenten der Nachbarordnungen, so daß nicht zu entscheiden ist, ob die Linie in ein Quartet oder Sextet zerfällt. Höherer Zerfall ist wohl ausgeschlossen.

$\lambda = 5009{,}63$ läßt in schwachen Magnetfeldern ein etwas diffuses Triplet erkennen. Die parallel den Kraftlinien schwingende Komponente verbreitert sich in höheren Magnetfeldern ein wenig, zeigt aber bis etwa 20 000 Gauß keine weitere Aufspaltung. Höherer Zerfall als ein Triplet ist kaum anzunehmen.

Die Linien $\lambda = 4972{,}40$ und $\lambda = 4965{,}38$ erscheinen gleichzeitig im Stufengitter. Im Magnetfeld ergeben beide, nach dem Verhalten der parallel den Kraftlinien schwingenden Komponenten zu schließen, einen Zerfall in drei Linien. Die seitlichen Komponenten überlagern sich und stören einander.

$\lambda = 4933{,}49$ ergibt ein lichtschwaches Triplet. In höheren Magnetfeldern ist eine geringe Verbreiterung der mittleren Komponente zu bemerken, indessen ist ein höherer Zerfall wohl ausgeschlossen.

$\lambda = 4847{,}94$ ist bei eingeschaltetem Magnetfeld diffus. Die Beobachtung mit dem Nikol läßt zwei parallel den Kraftlinien schwingende Komponenten erkennen. Die seitlichen Komponenten sind diffus. Es würde also zunächst auf ein Quartet zu schließen sein. Wahrscheinlich zerfällt aber diese Linie in eine größere, und zwar gerade Anzahl von Komponenten.

$\lambda = 4765{,}04$ wird im Magnetfeld völlig diffus. In schwachen Feldern ist bei der Beobachtung mit dem Nikol deutlich ein Triplet zu erkennen, dessen mittlere Komponente sich mit steigendem Magnetfeld verbreitert. Die seitlichen Komponenten sind diffus verbreitert und überlagern sich bald mit den senkrecht zu den Kraftlinien schwingenden Komponenten der Nachbarordnungen. Wahrscheinlich handelt es sich hier um einen höheren, ungeraden Zerfall.

Die Linien $\lambda = 4658{,}04$ und $\lambda = 4590{,}05$ sind im Magnetfeld diffus. Die Untersuchung mit dem Nikol ergibt in beiden Fällen Triplets, deren Mittellinien in stärkeren Magnetfeldern etwas verbreitert erscheinen. Höhere Zerlegung ist wohl ausgeschlossen.

$\lambda = 4579{,}53$ ist im Magnetfeld sehr diffus. Mit dem Nikol ist ein Triplet zu erkennen, dessen parallel den Kraftlinien schwingende Mittellinie in höheren Magnetfeldern eine starke diffuse Verbreiterung erfährt. Die maximale

Helligkeit befindet sich nicht in der Mitte der diffusen Linie. Wahrscheinlich liegt ein höherer und zwar gerader Zerfall vor.

$\lambda = 4426{,}16$ ist im Magnetfeld völlig diffus.

$\lambda = 4401{,}19$? Im Stufengitter ist nur eine Linie zu sehen, $4400{,}25$ die in schwachen Magnetfeldern in ein normales Triplet zerfällt. Die Mittellinie zeigt beim Verstärken des Magnetfeldes eine deutliche diffuse Verbreiterung.

$\lambda = 4348{,}11$ und $\lambda = 4331{,}31$ sind im Magnetfeld völlig diffus. Die Beobachtung mit dem Nikol ergibt in beiden Fällen Triplets, deren mittlere Komponenten sich mit steigendem Magnetfeld diffus verbreitern. Wahrscheinlich liegt höherer, ungerader Zerfall vor.

Beobachtung parallel den Kraftlinien.

Bei der Beobachtung parallel den magnetischen Kraftlinien ergaben die Linien $\lambda = 5009{,}63$, $4933{,}49$, $4880{,}14$, $4847{,}94$, $4806{,}17$, $4765{,}04$, $4736{,}03$, $4658{,}04$, $4609{,}73$, $4545{,}26$ Dublets, deren etwas breite und diffuse Komponenten durch Einschaltung eines $^1/_4\,\lambda$ Glimmerblättchens in den Strahlengang und Beobachtung mit dem Nikol als entgegengesetzt zirkular polarisiert erkannt werden konnten. Messungen sind wegen der Unschärfe der Linien nicht ausgeführt worden. Die Untersuchungen senkrecht und parallel zu den Kraftlinien zeigen, daß sich die helleren Argonlinien in bezug auf die Polarisation der Komponenten durchaus normal verhalten.

IV. Bestimmung der Wellenlängenunterschiede mehrerer komplexer Jodlinien.

Es sei mir gestattet, noch einige Ergebnisse über die komplexe Struktur mehrerer Jodlinien mitzuteilen. Nach den Wellenlängentabellen von M. Watts[1]) zeichnet sich das Jod durch eine Reihe heller Linien im grünen und gelben Bereiche des Spektrums aus; die Jodlinien eignen sich also zu einer Untersuchung mit dem Stufengitter. Es lag darum der Wunsch nahe, diese Linien einmal in bezug auf das Zeeman-Phänomen zu untersuchen.

Zur Erzeugung des Jodspektrums diente zunächst eine käuflich bezogene Spektralröhre, die mit geringen Mengen von festem Jod gefüllt war. Sie gab bei der Entladung ein ziemlich helles, linienreiches Spektrum. Die Linien erschienen auch im gewöhnlichen Spektralapparat sehr schön scharf, waren aber im Stufengitter breit und diffus. Nach dieser Methode wird man mit dem Stufengitter kaum zu brauchbaren Resultaten gelangen, da die günstigsten Bedingungen des Leuchtens schwer hergestellt und längere Zeit festgehalten werden können.

Ein schönes Jodspektrum habe ich dagegen nach einem von E. Goldstein[2]) angegebenen Verfahren erhalten. Nach

[1]) Marshall Watts, Study of Spectrum Analysis. New-York and Bombay 1904.

[2]) E. Goldstein, Ueber Erzeugung von Linienspektren. Ann. d. Phys. IV 27, pag. 773—796 (1908).

diesem Verfahren umgibt man die eine Elektrode eines Entladungsrohres, und zwar die nach unten gekehrte Anode, mit einem gepulverten Salz, welches das zu untersuchende Element als Metall oder Metalloid enthält. Durch den Entladungsfaden wird dann in dem Kanal, den er sich gräbt, eine geringe Menge des Salzes — sofern es sich nicht um sehr schwer flüchtige Substanzen handelt — verdampft und unter Entwicklung des betreffenden Metallspektrums zersetzt. Der im Entladungskanal entwickelte Dampf treibt die Reste der noch vorhandenen Luft aus, so daß ihre Banden im Spektrum nicht störend auftreten. Schaltet man parallel zur Röhre noch eine Leydener Flasche und eine Funkenstrecke, so enthält man bei der Entladung das Spektrum des betreffenden Metalloids.

Nach diesem Verfahren wurden drei Geißlerröhren von der gewöhnlichen Plückerform gefüllt, nachdem sie mehrere Stunden lang sorgfältig geglüht und mit trockner Luft gespült worden waren. Als Füllsubstanz diente für zwei Röhren Rubidiumjodid, für die dritte Natriumjodid. Vor der Einführung in die Röhren wurden die Salze geschmolzen und nach dem Erstarren gepulvert. Um die letzten Spuren von Feuchtigkeit und damit das immer wieder auftretende Wasserstoffspektrum zu beseitigen, wurden die Röhren beim Evakuieren unter gleichzeitigem Entladungsdurchgang beständig erhitzt, wiederholt mit trockner Luft gespült und schließlich evakuiert. Die Kapillaren erstrahlten dann bei Flaschenentladung in intensiv grünlich-weißem Lichte. Beide Substanzen, Rubidiumjodid und Natriumjodid, ergaben dasselbe Spektrum, das sich nach der Identifizierung der Linien als das Jodspektrum erwies.

Bei der Betrachtung im Stufengitter erschienen auch die so erhaltenen Linien völlig diffus. Durch Einschaltung einer passend gewählten Selbstinduktion gelang es jedoch, die Linien hinreichend scharf zu erhalten. Eine geringe Unschärfe war aber trotz vieler Versuche nicht zu beseitigen.

Die photographischen Aufnahmen bereiteten wegen der Lichtschwäche und der mit der Dauer der Entladung zunehmenden Unschärfe der Linien große Schwierigkeiten.

Den Induktionsstrom lieferte das oben[1]) erwähnte Induktorium unter Benutzung des Deprez-Unterbrechers. Die Wellenlängen sind den schon genannten Tabellen von M. Watts[2]) entnommen.

Es mögen jetzt die Ergebnisse folgen.

$\lambda = 5159$. Diese Linie besteht aus vier Komponenten. Für die Wellenlängenunterschiede ergaben sich aus drei Aufnahmen folgende Werte:

$d\lambda$ in A. E.			Mittel
0,000	0,000	0,000	0,000
— 0,105	— 0,103	— 0,104	— 0,104
— 0,191	— 0,186	— 0,185	— 0,187
+ 0,170	+ 0,170	+ 0,168	+ 0,169

Die Messungen gehen von der in zwei gleich hellen Ordnungen eingestellten Linie aus. Mit $+d\lambda$ sollen die weniger brechbaren, mit $-d\lambda$ die stärker brechbaren Trabanten bezeichnet werden.

Der Ordnungsabstand für λ 5159 ist $d\lambda_{max}$ 0,419 A. E. Die Komponente + 0,169 kann deshalb auch als — 0,250 angesehen werden.

Die in zwei gleich hellen Ordnungen eingestellte Komponente (0,000) und die Komponente — 0,104 haben nahezu gleiche Intensität. Die Intensität der Komponente — 0,187 ist etwas geringer, die der Komponente + 0,169 noch geringer. Die Linie 5159 hat eine ähnliche Struktur, wie sie die komplexen Linien des Mangans besitzen. An eine Linie, die Hauptlinie, schließen sich mehrere Trabanten an, deren Intensitäten und deren Abstände von einander mit der Entfernung von der Hauptlinie

[1]) cf. pag. 31.

[2]) Marshall Watts, Study of Spectrum Analysis. New-York and Bombay 1904.

geringer werden. Denselben Typus zeigen auch noch die Jodlinien $\lambda = 5471$ und $\lambda = 5497$.

$\lambda = 5471$. Für die Komponenten ergaben sich aus zwei Aufnahmen folgende Werte:

$d\lambda$ in A. E.		Mittel
0,000	0,000	0,000
— 0,108	— 0,108	— 0,108
— 0,197	— 0,199	— 0,198
+ 0,208	+ 0,206	+ 0,207

Der Ordnungsabstand beträgt $d\lambda_{max} - 0{,}478$ A. E. Die letzte Komponente $+0{,}207$ kann auch als $-0{,}271$ angesehen werden.

$\lambda = 5497$. Eine einzige Aufnahme läßt alle vier Komponenten erkennen; die schwächste ist jedoch zur Ausmessung nicht brauchbar. Die übrigen Komponenten sind:

$$0{,}000;\ -0{,}132;\ -0{,}224.$$

Aehnlich wie Dr. Janicki[1]) bei den komplexen Manganlinien aus dem ersten Trabanten die folgenden berechnet hat, lassen sich auch bei diesen Linien aus dem ersten Trabanten die übrigen nach empirisch aufgestellten Formeln bestimmen.

Für die Linie $\lambda = 5159$ habe ich folgende Formel gefunden:

$$d\lambda_n = d\lambda_1 + \frac{d\lambda_{n-1}}{1{,}27},$$

wo $d\lambda_1 = -0{,}104$ angenommen ist.

Es ergibt sich dann in guter Uebereinstimmung:

$d\lambda$ gemessen	$d\lambda$ berechnet
0,000	0,000
— 0,104	$-0{,}104_0$
— 0,187	$-0{,}185_9$
— 0,250	$-0{,}250_4$

[1]) L. Janicki, Die Beschaffenheit der Spektrallinien der Elemente I. Ann. d. Phys. IV 29, pag. 833–868 (1909).

Für die Linie $\lambda = 5471$ läßt sich eine ähnliche Formel finden, nämlich

$$d\lambda_n = d\lambda_1 + \frac{d\lambda_{n-1}}{1{,}21},$$

wo $d\lambda_1 = -0{,}108$ zu setzen ist.

Es wird dann

$d\lambda$ gemessen	$d\lambda$ berechnet
0,000	0,000
— 0,108	— $0{,}108_0$
— 0,198	— $0{,}197_3$
— 0,271	— $0{,}271_1$

Für die Linie $\lambda = 5497$ würde sich die Formel ergeben:

$$d\lambda_n = d\lambda_1 + \frac{d\lambda_{n-1}}{1{,}44},$$

wo $d\lambda_1 = -0{,}132$ angenommen ist. Diese Formel ist allerdings nur aus der einen Aufnahme hergeleitet worden. Nehmen wir sie einmal als richtig an, so ergibt sich für die nicht ausmeßbare Komponente

$$d\lambda_3 = -0{,}288 \text{ oder } d\lambda_3 = +0{,}195,$$

da der Ordnungsabstand für $\lambda = 5497$

$$d\lambda_{max} = 0{,}483 \text{ A. E.}$$

beträgt.

Eine gemeinsame Formel für die Komponenten der drei Linien $\lambda = 5159$, $\lambda = 5471$ und $\lambda = 5497$ läßt sich nach meinen Messungen nicht aufstellen.

Eine ganz andere Struktur besitzt die Linie $\lambda = 5408$.

Sie besteht aus vier Komponenten. Für die Differenzen der Wellenlängen ergaben sich aus zwei Aufnahmen folgende Werte:

$d\lambda$ in A. E.		Mittel
0,000	0,000	0,000
— 0,066	—	— 0,066
— 0,204	— 0,206	— 0,205
+ 0,102	+ 0,104	+ 0,103

Die Komponente — 0,066 ist außerordentlich lichtschwach. Auf der photographischen Platte ist sie nur eben noch zu sehen. Ihre Intensität beträgt höchstens $^1/_{10}$ der Intensität der in zwei gleich hellen Ordnungen eingestellten Komponente. Von einer Hauptlinie kann man nicht gut reden, da zwei Komponenten (0,000 und — 0,205) gleiche Intensität besitzen. Es ist willkürlich eine von beiden in zwei gleich hellen Ordnungen eingestellt worden. Die Komponente + 0,103 kann unter Berücksichtigung des Ordnungsabstandes $d\lambda_{max} = 0{,}466$ A. E. auch als — 0,363 gezählt werden. Ihre Intensität beträgt etwa $^1/_3$ der Intensität der beiden helleren Linien. Auch für diese Jodlinie habe ich versucht eine Formel aufzustellen, die aus der Wellenlängendifferenz der beiden ersten Komponenten die Wellenlängen der übrigen Trabanten zu bestimmen gestattet.

Die Formel lautet:

$$d\lambda_n = d\lambda_1 + \frac{d\lambda_{n-1} - d\lambda_{n-2}}{0{,}472},$$

wo $d\lambda_1 = -0{,}066$ zu setzen ist.

Es ergibt sich dann in guter Uebereinstimmung:

$d\lambda$ gemessen	$d\lambda$ berechnet
0,000	0,000
— 0,066	$-0{,}066_0$
— 0,205	$-0{,}205_8$
— 0,363	$-0{,}362_2$

Es ist nicht ausgeschlossen, daß außer den von mir untersuchten Linien noch die eine oder andere aus mehreren Trabanten zusammengesetzt ist, wie aus der Breite und dem diffusen Aussehen einiger, z. B. $\lambda = 5244$ und $\lambda = 5371$, vermutet werden kann.

Zur Untersuchung des Zeeman-Phänomens mit dem Stufengitter — dies war ja ursprünglich der Zweck der Versuche — sind die intensiveren Jodlinien wegen ihrer komplexen Struktur nicht geeignet. Schon in schwachen Magnetfeldern ist eine alle Einzelheiten verdeckende Diffusität zu beobachten, die jede weitere Untersuchung über das Verhalten der einzelnen Komponenten ausschließt.

Indessen ist es sehr wohl möglich, daß man nach dem Verfahren von Goldstein bei anderen Elementen, deren Linien sonst einer Untersuchung mit dem Stufengitter nicht zugänglich sind, Beobachtungen über das Zeeman-Phänomen anstellen und zu günstigen Ergebnissen gelangen kann.

Allgemeine Ergebnisse.

1. Es sind die intensiveren Linien im sichtbaren Spektrum von Mangan und Argon auf ihr Verhalten im Magnetfeld untersucht worden.
2. Die meisten Linien zeigen wohl endgültige Zerlegungen in Triplets und Quartets. Die komplizierten Aufspaltungen sind mit Diffusität verbunden.
3. Für die quantitativ bestimmten Trennungen besteht Proportionalität des Effekts mit der Feldstärke.
4. Im Jodspektrum konnten mehrere Linien mit komplexer Struktur beobachtet werden. Die Wellenlängenunterschiede der einzelnen Komponenten sind bestimmt und einfache Beziehungen zwischen ihnen aufgefunden worden.

Zum Schluß sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn, für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit und die stete liebenswürdige Anteilnahme und Unterstützung bei ihrer Ausführung meinen herzlichsten Dank ergebenst auszusprechen.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Otto Lüttig, am 15. September 1885 zu Holdenstedt, Kreis Sangerhausen (Prov. Sachsen), als Sohn des Landwirts Armin Lüttig und seiner Ehefrau Hulda geb. Richter. Ich bin evangelischer Konfession und preußischer Staatsangehörigkeit. Meinen ersten Schulunterricht erhielt ich in der Schule meines Heimatortes. Von Ostern 1896—1902 besuchte ich die Realschule zu Sangerhausen, dann die Oberrealschule zu Halle a. S. Diese Anstalt verließ ich Ostern 1905 mit dem Zeugnis der Reife und widmete mich nunmehr an den Universitäten zu Leipzig und Halle a. S. dem Studium der Mathematik und Naturwissenschaften.

Das examen rigorosum bestand ich am 15. Nov. 1910.

Während meiner Studienzeit waren meine Lehrer die Herren Professoren und Dozenten:

In Leipzig (S.-S. 1905—W.-S. 1906/07): Credner, Hantzsch, Hasse †, Hausdorff, Heinze †, Hölder, Liebmann, Mayer†, Neumann, Partsch, Pfeffer, Rohn, Volkelt, Wagner, Wiener, Zirkel.

In Halle (S.-S. 1907—S.-S. 1910): Bernstein, Cantor, Dorn, Ebbinghaus †, Fries, Goldschmidt, Gutzmer, Loofs, Luedecke†, Menzer, Meumann, Schmidt, Uphues, Volhard†, Vorländer, Walther, Wangerin, Wüst.

Allen diesen meinen hochverehrten Lehrern, ganz besonders Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Dorn, bin ich zu großem Danke verpflichtet.